

Tagungsbeitrag zu: Jahrestagung der
DBG, Kommission IV
Titel der Tagung: „Erd-Reich und Boden-
Landschaften“
Veranstalter: DBG & BGS vom 24. bis
29.08.2019 in Bern
Berichte der DBG (nicht begutachtete
online Publikation) <http://www.dbges.de>

N₂O-Emission und N-Dynamik im Boden nach der Düngung von Schweinekot aus einem Fütterungsversuch mit und ohne Pflanzenkohle als Futteradditiv

T. Appel^{}, L. Wald*

Schlüsselworte: Biochar, Futterkohle,
Stickstoff-Umsatz

Einleitung

Pflanzenkohle (Biochar oder auch Biokohle genannt) wird weniger als Bodenhilfsstoff eingesetzt, sondern vielmehr als Additiv in der Tierfütterung. Die Adsorptionskapazität der Kohle soll Verdauungsstörungen vorbeugen, wobei über die Futtermittel aufgenommene Pflanzentoxine sowie Stoffwechselprodukte von Pathogenen möglicherweise adsorbiert werden. Schmidt et al. (2016) berichteten, dass durch Futterkohle die Mastleistung erhöht und die Qualität der Schlachtkörper verbessert werden könne. In dem Fütterungsversuch, aus welchem der Schweinekot für die hier beschriebenen Pflanzenversuche stammte, steigerte die Futterkohle die Mastleistung von Schweinen allerdings nicht (Appel et al. 2019).

Das hohe Adsorptionsvermögen der Pflanzenkohle könnte bewirken, dass Stickstoff aus der Bodenlösung von der Kohle zurückgehalten wird, wodurch er den Pflanzen nicht mehr zur Verfügung stünde. Die Effekte dieser Stickstoffretentionswirkung wurde bei „frischen“ Pflanzenkohlen beobachtet, welche noch nicht mit Wirtschaftsdünger oder Kompost in Kontakt gekom-

men waren (Kammann et al. 2015). Um dieser Nährstofffestlegung entgegenzuwirken, wird empfohlen, die Kohle vor dem Einmischen in den Boden mit Nährstoffen und mikrobieller Biomasse zu beladen. Hierzu könnten Mischungen aus Pflanzenkohle und Kompost oder Wirtschaftsdünger eingesetzt werden (Lehmann et al. 2006). Bei letzterem ist es möglich, die Kohle direkt im Verdauungstrakt der Tiere mit flüssigen organischen Nährstoffen zu beladen (Joseph et al. 2015). Bei der Kompostierung und wahrscheinlich auch während des Verdauungsprozesses durchläuft die Pflanzenkohle einen beschleunigten Alterungsprozess. Dabei bilden sich vermehrt funktionelle Gruppen an den verzweigten Oberflächen heraus (Joseph et al. 2015). Dadurch wird die Redoxaktivität der Kohle erhöht (Klöpfer et al. 2014). Des Weiteren wird vermutet, dass sich durch die Beladung der Pflanzenkohle mit flüssigen organischen Nährstoffen die inneren Oberflächen der porenreichen Kohle mit einer organischen Schicht überzieht, wodurch die Nährstoffaustauschkapazität erhöht wird (Kammann et al. 2015). Schulz et al. (2015) berichteten, dass Pflanzenkohle im Boden die Bodenfruchtbarkeit verbesserte. Kammann et al. (2015) fanden zudem, dass die Kohle Nitrat zu binden vermag und die Emission von Treibhausgasen verminderte.

Futterkohle kommt während der Passage durch den Verdauungstrakt der Tiere in innigen Kontakt mit dem Kot der Tiere. Sie wird dadurch mit Nährstoffen beladen. Wenn die Exkremente der Tiere später in der Landwirtschaft als Dünger eingesetzt werden, könnten die positiven Eigenschaften der Kohle im Boden realisiert werden.

^{*} Technische Hochschule Bingen, Berlinstr. 109,
55411 Bingen - Prof. Dr. Thomas Appel, Tel.:
06721 409 174, Email: t.appel@th-bingen.de

Material und Methoden

Pflanzversuch im Gewächshaus.

In einem Pflanzversuch im Gewächshaus wurde geprüft, wie sich der Zusatz von Pflanzenkohle im Futter auf die N-Dynamik im Boden und die N-Verfügbarkeit für die Pflanzen auswirkt, wenn der Boden mit dem Kot der Tiere gedüngt wird. Dazu wurde ein Boden (Ackerkrume; pH(CaCl₂) 7,1; Textur: S 59,5 %, U 23,1 %, T 17,4 %; Humus 1,7 %, C:N im Humus 8,5, CAL-P 12,8 mg / 100 g) mit dem Kot von 8 Schweinen eines Fütterungsversuchs gedüngt. Vier Schweine waren mit Pflanzenkohle (Kohleanteil 1,5 bzw. 2,5 %) und vier Tiere ohne Additiv gefüttert worden. Die als Futteradditiv verwendete Pflanzenkohle stammte von der Fa. PYREG GmbH in Dörth, hergestellt mit einem Reaktor vom Typ PYREG P500 bei ca. 600 °C (± 25 °C). Ausgangsmaterial waren Kieferhackschnitzel ohne Rinde, 80 % Kohlenstoff in der Trockenmasse. Der Kot der Schweine wurde mit der Beuteltechnik (Borgmann et al., 1992) aufgefangen, täglich gewogen und bis zur Analyse (Elementaranalyse mittels Variomax, Fa. Elementar) bzw. der Düngung des Bodens gefrostet aufbewahrt. Die ausgeschiedene Stickstoffmenge wurde als Produkt der die Masse an gesammeltem Kot und der Stickstoffkonzentration im Kot errechnet.

Um den Einfluss der Kohle in den Exkrementen auf die N-Dynamik im Boden zu quantifizieren wurde ein Gefäßversuch mit Grünroggen (Ovid) und Weidelgras in Kick-Brauckmann-Gefäßen im Gewächshaus der TH Bingen durchgeführt. Vor der Aussaat des Roggens (17 Körner/Gefäß) wurden 100 bzw. 200 mg N / kg Boden in Form von Schweinekot gedüngt, außerdem gab es Varianten mit Mineral-N (NH₄NO₃) und ohne N-Düngung (Kontrolle). Alle Gefäße erhielten Kalium- und Magnesiumsulfat sowie Bor, Molybdän, Mangan, Zink und Kupfer in gelöster Form. Ein Teil der

nicht mit Kot gedüngten Böden wurde außerdem mit Phosphor in Form von CaH₂PO₄ gedüngt (Tab. 1). Beim Ansetzen der Gefäße wurden die Dünger mit dem Boden intensiv gemischt und dann der Boden jeweils in das Gefäß gefüllt.

Tab. 1: Dünge-Varianten im Pflanzversuch

| Bezeichnung | Kot von Schwein-Nr. bzw. Anzahl Parallelen | gedüngt mg N/ Gefäß |
|--------------------------------|--|---------------------|
| Null-Kontrolle = ohne N ohne P | n = 6 | 0 |
| N-Kontrolle = ohne N mit P | | 0 |
| Ammoniumnitrat 200 N ohne P | | 1608 |
| Ammoniumnitrat 200 N mit P | | 1608 |
| Normalkot 100 N | 1, 3, 5 bzw. 7 | 804 |
| Normalkot 200 N | | 1608 |
| Kohlekat 100 N | 2, 4, 6 bzw. 8 | 804 |
| Kohlekat 200 N | | 1608 |

Die mit Roggen eingesäten Gefäße wurden alle zwei Tage mit entionisiertem Wasser auf ca. 75 % der maximalen Wasserhaltekapazität befeuchtet. Einmal pro Woche wurden alle Gefäße gewogen und auf ihr exaktes Gewicht gegossen. Sechs Wochen nach der Aussaat wurde der Roggen geerntet, der Roggenaufwuchs im Trockenschrank getrocknet, pulverisiert und die N-Konzentration in der Trockenmasse (TM) bestimmt (Variomax, Fa. Elementar).

Nach der Ernte des Roggens wurde Weidelgras als Nachkultur gesät (3 g / Gefäß) und zweimal geerntet. Der TM-Ertrag des Weidelgrases wurde bestimmt und N in der TM gemessen.

Zu vier Terminen wurden aus jedem Gefäß mit einem Bohrstock drei Bodenproben (ca. 50 g) entnommen. Dies geschah zu Versuchsbeginn, nach der Roggenernte sowie nach dem 1. und nach dem 2. Schnitt des Weidelgrases. Die dabei entstandenen Bohrlöcher wurden mit 200 g Quarzsand je Gefäß aufgefüllt. Die Bodenproben wurden mit 0,01 M CaCl₂ extrahiert und Nitrat und Ammonium in den Extrakten gemessen (San++, Fa. Skalar).

Inkubationsversuch im Labor.

Aliquote des im Gewächshausversuch verwendeten Bodens wurden außerdem für eine Laborinkubation verwendet. Diese diente dazu, den Verlauf der N-Mineralisation und den mikrobiell gebundenen N im Boden zu messen sowie die Emission von N_2O , CO_2 und NH_3 zu erfassen. Insgesamt 36 Portionen á 600 g Frischmasse (FM) des Bodens wurden in 1 Liter Kunststoffdosen eingewogen. Zwölf Portionen erhielten keinen Dünger, in je drei Boden-Portionen wurde jeweils 7 g vom Kot eines der 8 Schweine des Fütterungsversuchs (s.o.) eingemischt. Somit gab es $3 \times 4 = 12$ Portionen Boden, gedüngt mit Kohlekot (je 3 Portionen von den Schweinen Nr. 2, 4, 6 und 8) und 12 Portionen mit Normalkot (je 3 gedüngt mit dem Kot der Schweine Nr. 1, 3, 5 und 7). Eine Portion, gedüngt mit dem Kot jeweils eines Schweins, sowie vier nicht mit Kot gedüngte Boden-Portionen wurden gleich nach dem Ansetzen auf Nitrat, Ammonium und mikrobiell gebundenen Stickstoff untersucht. Dazu wurden 50 g des Bodens sofort mit 200 ml 0,5 M K_2SO_4 -Lösung extrahiert und 50 g Boden zunächst für 24 h mit Chloroform in einem Exsikkator behandelt und anschließend mit K_2SO_4 extrahiert. Es wird angenommen, dass durch die Fumigation ca. 54 % des mikrobiell gebundenen Stickstoffs in eine extrahierbare Form überführt wird (Brookes et al. 1985). Nitrat, Ammonium und der gesamte extrahierbare N wurden colorimetrisch bestimmt (San++, Fa. Skalar). Die restlichen in die Kunststoffgefäße eingewogenen Bodenportionen wurden im Labor bei ca. 20 bis 25 °C 6 Wochen bzw. 9 Wochen lang aufbewahrt. Die Gefäße wurden dazu mit einem perforierten Deckel verschlossen. Wasserverluste durch Verdunstung wurden einmal wöchentlich mit entionisiertem Wasser kompensiert. Nach 6 Wochen Inkubationszeit wurden von jeder Variante 4 Portionen entnommen und Nitrat, Ammonium und der mikrobiell

gebundene Stickstoff im Boden bestimmt. Die verbleibenden Zwölf Gefäße wurden dazu verwendet, im Luftraum über dem Boden (Headspace) die Konzentration von CO_2 , N_2O und NH_3 zu messen. Für die Messung wurde die Perforierung der Deckel verschlossen und ein photoakustisches Gasmessgerät (Innova 1412, Fa. Lumasense) im Umluftbetrieb mindestens 24 Stunden lang angeschlossen. Neun Wochen nach dem Ansetzen wurden auch diese Gefäße „geschlachtet“ und die Böden mit 0,5 M K_2SO_4 extrahiert. Nitrat und Ammonium in den Extrakten wurde gemessen.

Die Ergebnisse wurden varianzanalytisch ausgewertet (Faktor Düngung, 3 Faktorstufen „mit Kohlekot“, „mit Normalkot“, „ohne Kot“. Die Mittelwerte wurden post hoc mittels SNK-Test verglichen und der Standardfehler (SE) als Fehlerbalken in den Grafiken visualisiert. Säulen die mit mindestens einem gleichen Buchstaben markiert sind, unterscheiden sich nicht signifikant.

Ergebnisse

Stickstoffausscheidung mit dem Kot.

Die Kohle hatte keinen Einfluss auf die Stickstoffkonzentration im Kot (Abb. 1). Sie beeinflusst auch nicht die mit dem Kot ausgeschiedene N-Menge (Abb. 2).

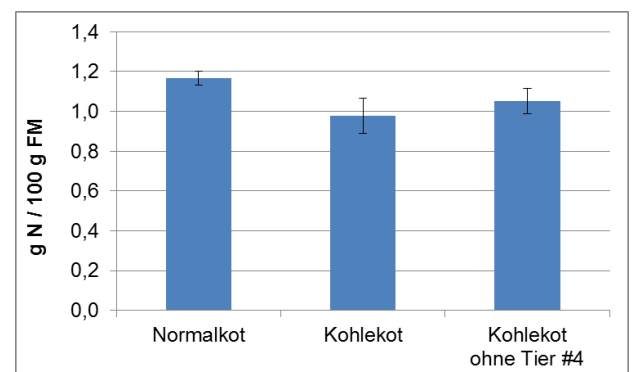


Abb. 1: N-Konzentration in % der Kot-Frischmasse, Mittel von n=4 bzw. n=3 Tieren

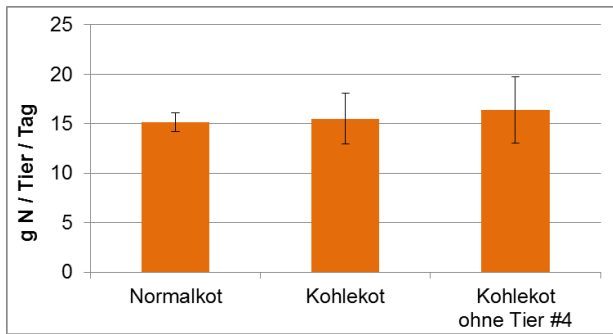


Abb. 2: N-Ausscheidung mit dem Kot;
Mittel von n=4 bzw. n=3 Tieren

Tier Nr. 4 litt während des Fütterungsversuchs, in dem der für den Pflanzversuch verwendete Kot gewonnen wurde, an Durchfall. Für die Auswertung in Abb. 1 und 2 wurde deshalb die N-Ausscheidung mit und ohne Tier Nr. 4 berechnet.

Pflanzversuch mit Roggen und Weidelgras.
Die Stickstoffdüngung wirkte positiv auf den Pflanzenertrag, die Phosphordüngung wirkte dagegen nicht (Abb. 3). Die Kohle hatte keinen Einfluss auf den Ertrag.

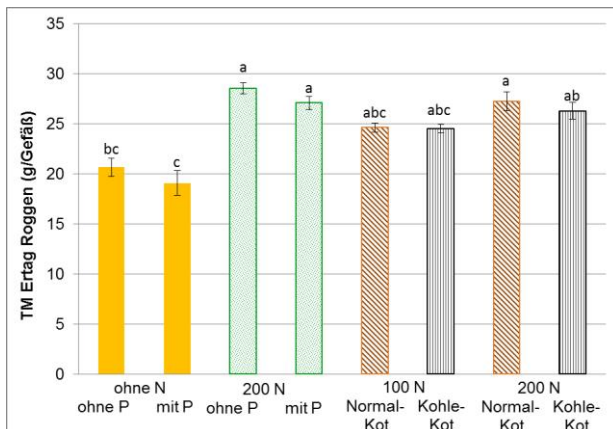


Abb. 3: Roggenertrag, Mittel von n=4
Gefäßen ± SE

Stärker noch als in den Erträgen spiegelte sich die Düngung im N-Entzug wider (Abb. 4). Der Roggen-Aufwuchs entzog am meisten Stickstoff. Für den 2. Aufwuchs des Weidelgrases war dann nur noch wenig Stickstoff im Boden verfügbar. Dieser 2. Weidelgras-Aufwuchs kennzeichnete die N-Nachlieferung.

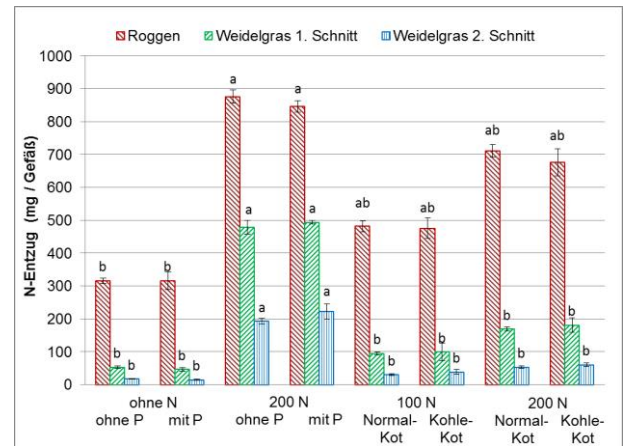


Abb. 4: N-Entzug mit dem Pflanzenaufwuchs, Mittel von n=4 Gefäßen ± SE

Die Nitratvorräte in den Böden (nennenswerte Ammoniumkonzentrationen wurden in den Böden nicht gemessen) waren nach dem 2. Weidelgras-Schnitt aufgebraucht (Abb. 5). Die Kohle im Kot war für die Nitratgehalte im Boden bedeutungslos.

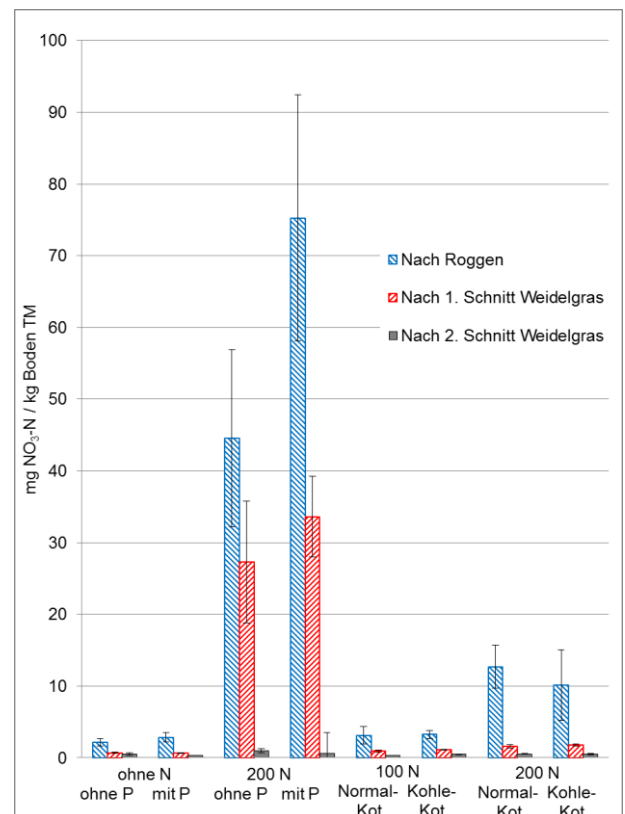


Abb. 5: Nitrat im Boden, Mittel von n=4
Gefäßen ± SE

Laborinkubation.

Die Düngung der Böden mit dem Kot der Schweine spiegelte sich in mehr mikrobiell gebundenem N. Die Fumigation machte in den mit Kot gedüngten Böden mehr N extrahierbar (= Indikator für mikrobiell gebundenen N) als in dem Boden ohne Kot (Abb. 6). Auch ohne die Fumigation war der lösliche organische N (Norg) und Ammonium-N in den mit Kot gedüngten Böden höher als in dem Boden ohne Kot. Die Kohlefütterung hatte darauf jedoch keinen signifikanten Einfluss.

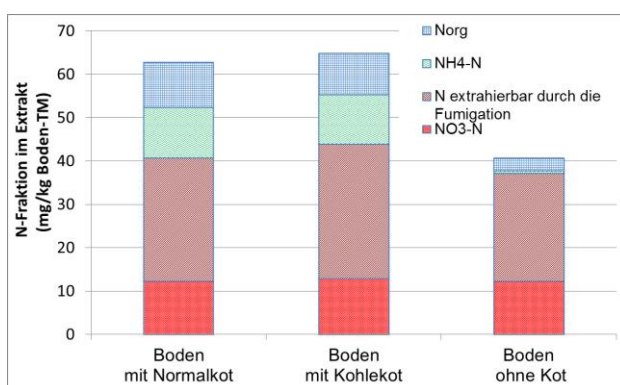


Abb. 6: K₂SO₄-extrahierbarer N im Boden unmittelbar nach der Düngung (Tag 0); Mittel von n=4 Gefäßen

Der mikrobiell gebundene Stickstoff hatte in allen drei Varianten im Verlauf der 6wöchigen Inkubation abgenommen, ebenso der lösliche organische N und das Ammonium im Boden (Abb. 7). Nitrat akkumulierte dagegen in allen Böden aufgrund von Mineralisation und Nitrifikation. Die Nitratakkumulation war in den mit Kot gedüngten Böden wesentlich stärker ausgeprägt als in dem nicht gedüngten. In den mit Kohlekot gedüngten Böden war die Nitratakkumulation tendenziell geringer als in den mit Normalkot gedüngten Böden. Der Unterschied war allerdings gering und nicht signifikant.

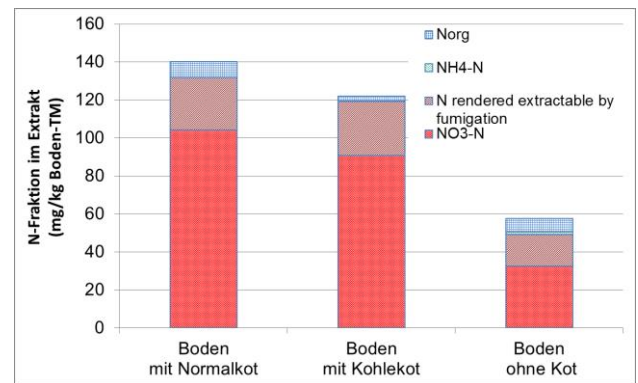


Abb. 7: K₂SO₄-extrahierbarer N im Boden sechs Wochen nach der Düngung (Tag 42); Mittel von n=4 Gefäßen

Die im Vergleich zur Normalkot-Variante tendenziell verlangsamte Mineralisation in den mit Kohlekot gedüngten Böden war auch nach 9 Wochen Inkubationszeit erkennbar. Im Boden der Kohlekot-Variante war tendenziell weniger N_{min} als im Boden der Normalkot-Variante (Abb. 8).

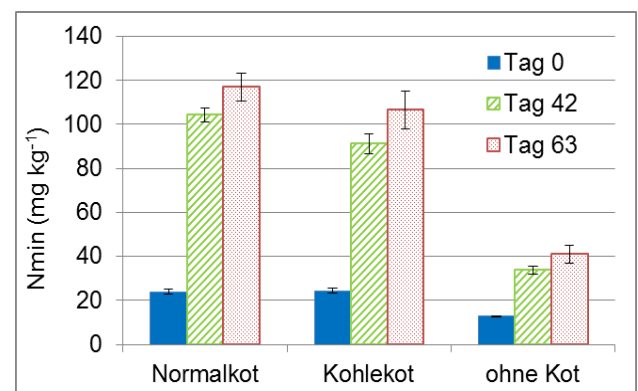


Abb. 8: N_{min} (=NO₃-N + NH₄-N) im Boden unmittelbar nach der Düngung sowie nach 6 und nach 9 Wochen Inkubation; Mittel von n=4 Gefäßen

Die Gasmessung im Headspace der Inkubationsgefäße ergab, dass zwischen den einzelnen Gefäßen (= Parallelen) einer Variante beträchtliche Unterschiede in der CO₂- und der N₂O-Konzentration bestanden (Abb. 9). Das war im Prinzip bei allen drei Varianten und sowohl bei N₂O als auch bei CO₂ der Fall (Daten nicht gezeigt). Im Mittel unterschieden sich die Varianten weder in der CO₂- noch in der N₂O-Konzentration signifikant (Abb. 10 und

11). Ammonium wurde im Headspace der Inkubationsgefäße stets unterhalb der Bestimmungsgrenze gemessen.

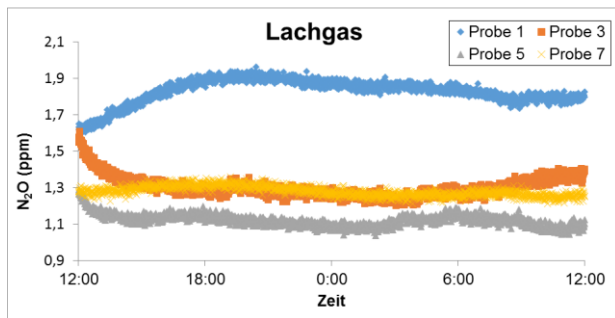


Abb. 9: N₂O-Konzentration in der Luft über dem mit Normalkot von Schwein #1, #3, #5 und #7 gedüngten Boden im Inkubationsgefäß im Verlauf von 24 Stunden

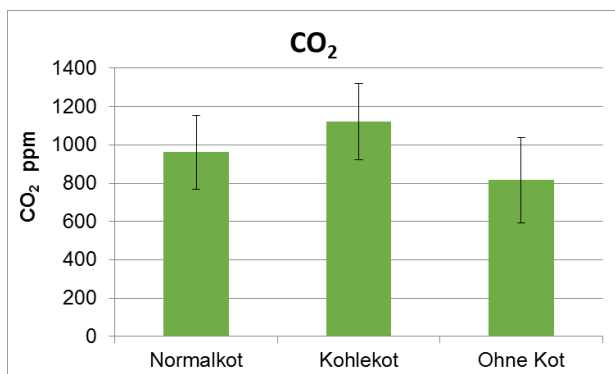


Abb. 10: Kohlendioxid im Headspace der Inkubationsgefäße, Mittel von n=4 Gefäßen ± SE

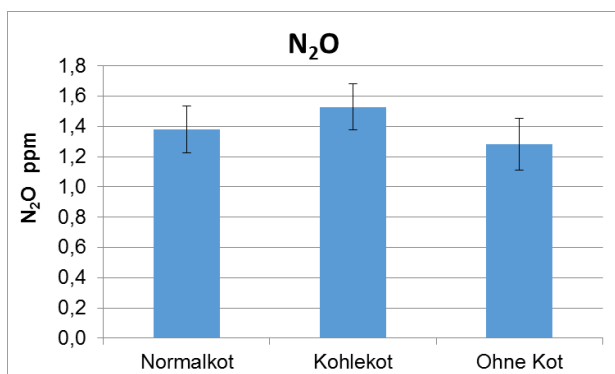


Abb. 11: Lachgas im Headspace der Inkubationsgefäße, Mittel von n=4 Gefäßen ± SE

Diskussion

Schweine scheiden überschüssigen Stickstoff vor allem über den Urin aus. Der Kot enthält jedoch ebenfalls beträchtliche

Mengen an Stickstoff, und zwar nicht nur in organischer Form, sondern auch als NH₄⁺. Unmittelbar nach der Düngung war das Ammonium aus dem Kot im Boden zu messen (Abb. 6). Ammonium steht mit Ammoniak in wässriger Lösung in einem pH-abhängigen Gleichgewicht, aus dem es in Form von NH₃ in die Luft entweichen kann. Pflanzenkohle, als Additiv dem Futter zugesetzt, könnte die NH₃-Volatilisation mindern, indem sie NH₄⁺ adsorbiert. Unsere Messungen ergaben allerdings keinen Hinweis darauf, dass dieser Effekt tatsächlich eintrat, was mit der eher alkalisierenden Wirkung der Pflanzenkohle zu erklären ist (Häni, C. et al., 2012; Subedi et al. (2015). Pflanzenkohle, die als Futteradditiv angeboten wird, hat eine ca. 10fach niedrigere spezifische Oberfläche als die wesentlich teurer herzustellende Aktivkohle (Lonappan et al. 2016).

Schmidt et al. (2016) betonten die Vorteilhaftigkeit der Kaskadennutzung von Pflanzenkohle als Futteradditiv, weil die Kohle mit den Exkrementen der Tiere ausgeschieden wird und dann als Wirtschaftsdünger in den Boden gelangt, wo sie die Bodenfruchtbarkeit steigern, den Nitrat- austrag mindern und die Emission von Treibhausgasen vermeiden hilft. Allerdings gibt es keine Angaben, wie persistent die verfütterte Pflanzenkohle bei der Passage durch den Magen-Darm-Trakt der Schweine ist. Direkt in den Boden oder in Kompost appliziert, wird Pflanzenkohle nur extrem langsam abgebaut (Wang et al. 2016). Diese Persistenz des in der Pflanzenkohle enthaltenen Kohlenstoffs kann auch für die Passage durch den Magen-Darm-Trakt vermutet werden.

Die Ergebnisse unseres Gefäßversuchs lieferten allerdings keinen Hinweis darauf, dass die Pflanzen von der mit den Exkrementen ausgeschiedene Pflanzenkohle profitierten. Der als erste Kultur im Pflanzversuch angebaute Roggen verfügte über

ausreichend Wasser und alle erforderlichen Nährstoffe außer Stickstoff. Das Wachstum des Roggens war durch die N-Versorgung limitiert (Abb. 3 und 4). Von dem sofort pflanzenverfügbaren NH_4NO_3 profitierte sowohl der Roggen als auch das anschließend angebaute Weidelgras, und zwar mehr als von dem gedüngten Schweinekot. Die Hoffnung, dass die Pflanzenkohle in den Exkrementen diese zu einer langsam fließenden N-Quelle werden lässt, bestätigte sich nicht. Die Kohle hatte keinen Einfluss auf die N-Aufnahme der Pflanzen. Die Pflanzen beuteten den anorganischen N im Boden bis zum Ende des Versuchs vollständig aus (Abb. 5). Sie litten am Ende des Versuchs in allen Varianten unter N-Mangel. Das ist an dem limitierten zweiten Weidelgrasaufwuchs zu erkennen. Die Kohlekot-Variante unterschied sich dabei nicht von der Normalkot-Variante.

Pflanzenkohle im Boden kann bewirken, dass weniger Lachgas emittiert wird (Case et al., 2015). Unsere Messungen bestätigten dies jedoch nicht. Die Konzentration von N_2O und CO_2 in der Luft im Inkubationsgefäß über dem Boden war im Mittel sogar eher höher in der Kohlekot-Variante als in der Normalkot-Variante (Abb. 10 und 11). Die Unterschiede waren jedoch nicht signifikant. Die Wirkung der Kohle auf die mikrobielle Umsetzung von Stickstoff im Boden hängt offensichtlich von zahlreichen Faktoren und ihrer Interaktionen ab, die kaum vorhersehbar sind, wie z.B. den mikrobiellen Prozessen im Boden (Edwards et al. 2018) und der Konzentration an Nitrat und Ammonium im Boden (Sun et al. 2017). Eine positive Wirkung auf die Reduktion von Treibhausgasen könnte dennoch von der Pflanzenkohle im Futtertrog ausgehen, da der in ihr enthaltene Kohlenstoff im Boden nur sehr langsam abgebaut wird und somit der Mineralisation zu CO_2 entzogen wird. Bei

einem Preis von ca. 1000 EUR je Tonne Futterkohle sind die CO_2 -Vermeidungskosten mit ca. 340 EUR / t CO_2 allerdings unverhältnismäßig, wenn sie nicht durch eine kohlebedingt höhere Wertschöpfung bei der Pflanzenproduktion kompensiert werden.

Fazit

Die dem Schweinefutter zugesetzte Kohle war in jeder Hinsicht für den N-Umsatz in dem mit dem Kot gedüngten Boden inert. Im Pflanzversuch im Gewächshaus mit Roggen und Weidelgras war die Kohle für das Pflanzenwachstum und die N-Dynamik im Boden wirkungslos. In der Laborinkubation verminderte sie auch nicht die Emission von Lachgas und Kohlendioxid.

Literatur

- Appel, T., Wittke, M., Dusel, G. (2019): Pflanzenkohle als Futterzusatz bei Mastschweinen - Wirkung auf Futteraufnahme, N-Ausscheidung und Verdaulichkeit. VDLUFA-Schriftenreihe 76, Kongressband 2019, in Vorbereitung
- Borgmann, E.; Wünsche, J.; Souffrant, W.-B.; Schadereit, R. (1992): Untersuchungen zur Anwendung der mobilen Beuteltechnik bei Schweinen. 1. Mitteilung: Bestimmung der scheinbaren Rohproteinverdaulichkeit und Aminosäurenresorption von Futtermitteln und Rationen. Arch Anim Nutr 42 (3-4), 213-223
- Brookes, P.C.; Landman, A.; Pruden, G.; Jenkinson, D.S. (1985): Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. Soil. Biol. Biochem. 17, 837-842
- Case, S.D.C., McNamara, N.P., Reay, D.S., Stott, A.W., Grant, H.K., Whitaker, J. (2015): Biochar suppresses N_2O emissions while maintaining N availability in a sandy loam soil. Soil Biol. Biochem. 81, 178-185

- Edwards, J.D., Pittelkow, C.M., Kent, A.D., Yang, W.H. (2018): Dynamic biochar effects on soil nitrous oxide emissions and underlying microbial processes during the maize growing season. *Soil Biol. Biochem.* 122, 81-90
- Häni, C., Kupper, T., Jocher, M., Neftel, A., Sintermann, J. (2012): Amendment of biochar to slurry: a possibility to mitigate ammonia emissions. In: Mélynda Hassouna and Nadine Guingand (Hrsg.) *Emissions of Gas and Dust from Livestock*, Mélynda Hassouna, Nadine Guingand. *Emissions of gas and dust from Livestock*. IFIP – Institut Technique du Porc, pp 126-129
- Joseph, S., Pow, D., Dawson, K., Mitchell, D.R.G., Rawal, A., Hook, J., Taherymoosavi, S., Zwieten, L.V.A.N., Rust, J., Donne, S., Munroe, P., Pace, B., Graber, E., Thomas, T., Nielsen, S., Ye, J., Lin, Y. (2015): Feeding Biochar to Cows: An Innovative Solution for Improving Soil Fertility and Farm Productivity. *Pedosphere* 25, 666–679
- Kammann, C., Schmidt, H.P., Messerschmidt, N., Linsel, S., Steffens, D., Müller, C., Koyro, H.W., Conte, P., Joseph, S. (2015): Plant growth improvement mediated by nitrate capture in co-composted biochar. *Nature Scientific Reports* DOI: 10.1038/srep11080
- Klüpfel, L., Keiluweit, M., Kleber, M., Sander, M. (2014): Redox properties of plant biomass-derived black carbon (biochar). *Environ. Sci. Technol.* 48, 5601-5611
- Lehmann, J., Gaunt, J., Rondon, M. (2006): Biochar Sequestration in Terrestrial Ecosystems – A Review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 11, 403-407
- Lonappan, L., Rouissi, T., Das, R.K., Brar, S.K., Ramirez, A.A., Verma, M., Surampalli, R.Y., Valero, J.R. (2016): Adsorption of methylene blue on biochar microparticles derived from different waste materials. *Waste Management* 49, 537-544
- Schmidt, H.P., Kammann, C., Gerlach, A., Gerlach, H. (2016): Der Einsatz von Pflanzenkohle in der Tierfütterung. *Ithaka-Journal*, Arbaz, Switzerland, 364-394
- Schulz, H., Dunst, G., Glaser, B. (2013): Positive effects of composted biochar on plant growth and soil fertility. *Agron. Sustain. Development* 33, 817–827
- Subedi, R. Kammann, C, Pelissetti, S., Taupe, N., Bertora, C., Monaco, S., Grignani, C. (2015): Does soil amended with biochar and hydrochar reduce ammonia emissions following the application of pig slurry? *Eur. J. Soil Sci*, 66, 1044-1053
- Sun, Z., Sängner, A., Rebensburg, P., Lentzsch, P., Wirth, S., Kaupenjohann, M., Meyer-Aurich, A. (2017): Contrasting effects of biochar on N₂O emission and N uptake at different N fertilizer levels on a temperate sandy loam. *Science of The*
- Wang, J., Xiong, Z., Kzzyakov, Y. (2016): Biochar stability in soil: meta-analysis of decomposition and priming effects. *Bioenergy* (2016) 8, 512–523
- Wang, J., Xiong, Z., Kuzyakov, Y. (2016): Biochar stability in soil: meta-analysis of decomposition and priming effects. *Bioenergy* (2016) 8, 512–523